

MÓDULO	MATERIA	CURSO	SEMESTRE	CRÉDITOS	TIPO
Física Matemática e Información Cuántica	Información Cuántica	4º	2º	6	Optativa
PROFESORES ⁽¹⁾			Dpto. Física Atómica, Molecular y Nuclear, Facultad de Ciencias, Avda Fuentenueva s/n 18071 Granada Tel. 958 24 61 70. E-correo: earriola@ugr.es		
<ul style="list-style-type: none"> Enrique Ruiz Arriola 			Dpto. Física Atómica, Molecular y Nuclear, 3ª planta de Físicas, Facultad de Ciencias. Despacho nº 139. Correo electrónico: earriola@ugr.es		
			ATENCIÓN TUTORIAL		
			Cuatrimestre 1º: L 11-13, X 11-13, J 11-13 Cuatrimestre 2º: L 11-13, X 11-13, J 11-13		
GRADO EN EL QUE SE IMPARTE			OTROS GRADOS A LOS QUE SE PODRÍA OFERTAR		
Grado en Física			Grado en Matemáticas		
PRERREQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES (si procede)					
<ul style="list-style-type: none"> Conocimientos de mecánica cuántica elemental al nivel de Física Cuántica de tercer curso y de Mecánica Cuántica de cuarto curso (primer cuatrimestre), de álgebra lineal incluyendo la noción de espacio de Hilbert y diagonalización de matrices, de Física estadística y termodinámica. Conocer un lenguaje de programación que permita hacer problemas numéricos durante el curso. Poseer la capacidad de leer textos en inglés científico comprendiendo su contenido. 					
BREVE DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS (SEGÚN MEMORIA DE VERIFICACIÓN DEL GRADO)					
<ul style="list-style-type: none"> Entropías clásicas: concepto y aplicaciones científicas y tecnológicas. Formalismo de la matriz densidad. Sistemas de uno y dos qubits. Entrelazamiento cuántico. Descomposición de Schmidt. Purificación. Entropías cuánticas. Medidas de entrelazamiento. Desigualdades de Bell. 					

1

Consulte posible actualización en Acceso Identificado > Aplicaciones > Ordenación Docente

(∞) Esta guía docente debe ser cumplimentada siguiendo la "Normativa de Evaluación y de Calificación de los estudiantes de la Universidad de Granada" ([http://secretariageneral.ugr.es/pages/normativa/fichasugr/ngc7121/!](http://secretariageneral.ugr.es/pages/normativa/fichasugr/ngc7121/))



- Comunicación cuántica: teorema de no-clonación, criptografía y teleportación cuánticas
- Computación cuántica.

COMPETENCIAS GENERALES Y ESPECÍFICAS

Generales

- CT1: Capacidad de análisis y síntesis.
- CT2: Capacidad de organización y planificación.
- CT5: Capacidad de gestión de la información.
- CT8: Razonamiento crítico.
- CT9: Aprendizaje autónomo.

Específicas

- CE1: Conocimiento y comprensión de los fenómenos y las teorías físicas más importantes.
- UCE3.2: Capacidad de profundizar en la aplicación de los conocimientos físicos y matemáticos en el contexto general de la Información Cuántica.
- CE6: Capacidad para elaborar proyectos de iniciación a la investigación científica en el ámbito de la Información Cuántica.
- CE7: Capacidad de transmitir conocimientos de forma clara tanto en ámbitos docentes como no docentes.

OBJETIVOS (EXPRESADOS COMO RESULTADOS ESPERABLES DE LA ENSEÑANZA)

Tras cursar satisfactoriamente la asignatura, el alumno:

a) Conocerá:

- Las principales cuestiones sobre fundamentos de la mecánica cuántica, la información clásica y cuántica, la comunicación cuántica, la computación cuántica.
- El significado del entrelazamiento cuántico como fenómeno científico y herramienta tecnológica.
- Nociones básicas sobre la concepción cuántica de la medida y los principales desarrollos teóricos relacionados.
- Algunos de los más recientes desarrollos experimentales en el campo.
- Las principales aplicaciones de la materia.

b) Deberá:

- Haber percibido la gran revolución conceptual que ha supuesto la teoría cuántica.
- Haber comprendido los actuales debates interpretativos abiertos sobre la teoría cuántica y sus nuevos desarrollos teóricos generados, y haber realizado exposiciones coherentes sobre ellos.
- Ser capaz de abordar la principal bibliografía relacionada, comprendiendo los problemas planteados y las implementaciones experimentales acometidas.
- Haber comprendido la trascendencia sobre las aplicaciones actuales más importantes de la Información Cuántica, Computación Cuántica y la Comunicación Cuántica, y ser capaz de realizar explicaciones coherentes sobre ellas

TEMARIO DETALLADO DE LA ASIGNATURA

TEMARIO TEÓRICO:

Tema0. **Introducción.** Regla de platino, colisiones y teorema H. Principio de máxima entropía y termodinámica. Algebra de Boole. Puertas y circuitos lógicos. Probabilidades. Desigualdades contrafactuales. Aleatoriedad real y aparente. Correlaciones. Probabilidad y objetos perdidos.

Tema 1. **Información clásica.** Dicotomías. Entropías de Shannon, Rényi y Tsallis. Comunicación clásica. Digitalización y muestreo de señales. Información mútua. Entropía relativa. Codificación y compresión. Corrección de errores. Teoremas de Shannon y capacidad. Conservación de la información. Computación reversible y principio de Landauer.



Termodinámica de la computación. Computabilidad. Información algorítmica y complejidad. Criptografía clásica. Claves públicas.

Tema 2. **Información Cuántica**. Lógica cuántica. Formalismo del operador densidad. Ecuación de Landau-von Neumann. Concepto y contenido de información. Matriz densidad reducida. Decoherencia cuántica. Positividad completa. Medidas cuánticas. Bits cuánticos y su implementación física. La esfera de Bloch. Polarización. Sistemas de dos y más qubits. Medidas de información y de entrelazamiento. Descomposición de Schmidt. Purificaciones. Fidelidad. Separabilidad. Teorema de Kochen-Specker y contextualidad.

Tema 3. **Comunicación Cuántica**. Procesamiento de la información cuántica. La paradoja EPR. Desigualdades de Bell. Teoremas de imposibilidad. Criptografía y Teleportación cuánticas. Capacidad cuántica. Cotas de Holevo y Schumacher.

Tema 4. **Computación Cuántica**. Protocolos cuánticos. Puertas lógicas cuánticas. Redes y circuitos cuánticos. Principios generales. Paralelismo cuántico. Algoritmos cuánticos. Computadores cuánticos.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA FUNDAMENTAL:

- J.A. Bergou & M. Hillery, Introduction to the Quantum Information Processing (Springer, Berlin, 2013)
- G. Benenti, G. Casati, and G. Strini, Principles of Quantum Computation and Information. Vols. I and II (World Scientific, Singapore, 2007).
- B. Schumacher & M.D. Westmoreland, Quantum Processes, Systems and Information. (Cambridge University Press, Cambridge, 2010).
- N. Nielsen & I.L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information (Cambridge U. P., Cambridge, 2010).
- M. M. Wilde, Quantum Information Theory (Cambridge U.P., Cambridge, 2013)
- J.A. Jones & D. Jaksch, Quantum Information, Computation and Communication (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2012).
- I. Bengtsson & C. Zyczkowski, Geometry of Quantum States: An Introduction to Quantum Entanglement (Cambridge U. P., Cambridge, 2006).
- V. Vedral, Introduction to Quantum Information Science. (Oxford U.P., Oxford, 2006)
- G. Jaeger, Quantum Information: An Overview (Springer, Berlin, 2007)
- A. Albert et al, Quantum Information. An Introduction to Basic Theoretical Concepts and Experiments; Springer; Berlin, 2001.
- M. M. Wilde, From Classical to Quantum Shannon Theory (Lecture Notes LSU, 2016)
- W.H. Steeb, Problems & Solutions in Quantum Computing & Quantum Information (World Scientific, Singapore, 2004).
- D. McMahon, Quantum Computing Explained (Wiley, N.Y., 2008)
-

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA:

- H. T. Williams, Discrete Quantum Mechanics. (Morgan & Claypool Publishers, IOP,2015)
- E. Desurvire, Classical and Quantum Information Theory: An Introduction for the Telecom Scientist (Cambridge U.P., Cambridge, 2011)
- D. C. Marinescu, Classical and Quantum Information (Academic Press, N.Y., 2011)
- E. G. Rieffel, Quantum Computing: A Gentle Introduction (M.I.T. Press, 2011)
- A. Zagoskin, Quantum Engineering: Theory and Design of Quantum Coherent Structures. (Springer, 2011)
- A. Renyi, Diary on information theory
- R. P. Feynman, Lectures on Computation



ENLACES RECOMENDADOS

- John Preskill, <http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph219/#lecture> o simplemente <http://theory.caltech.edu/~preskill/ph229/>
- *Quantum computers ready to leap out of the lab in 2017*, Nature, <https://www.nature.com/news/quantum-computers-ready-to-leap-out-of-the-lab-in-2017-1.21239>
- Grupos de investigación: <http://faeuat0.us.es/QIGUS/links.htm>, www.quantumoptics.net, <http://www.iqoqi.at/en/>, y www.qubit.org.
- <http://qserver.usc.edu/quantum-links/>

Los aspectos previos son comunes. A partir de aquí se contemplan dos escenarios A y B posibles. Los aspectos presenciales se detallan específicamente en ESCENARIO A y los aspectos específicamente no-presenciales en ESCENARIO B. El escenario más probable es un híbrido cuyo porcentaje real es de momento incierto y está supeditado a las directrices que dicte la UGR sobre la marcha según se desarrolle la pandemia.

ESCENARIO A (ACTIVIDAD SEMI-PRESENCIAL)

Los aspectos específicamente No-presenciales se detallan en ESCENARIO B

METODOLOGÍA DOCENTE

- Metodología y distribución créditos:
- Clases teóricas: 3 ECTS
- Clases prácticas, problemas y seminarios: 2 ECTS
- Tutorías y exámenes: 1 ECTS

EVALUACIÓN (INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN, CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y PORCENTAJE SOBRE LA CALIFICACIÓN FINAL, ETC.)

CONVOCATORIA ORDINARIA

- La evaluación será continua y se realizará mediante exámenes de teoría y problemas, prácticas de ordenador y trabajos opcionales, en los que los estudiantes tendrán que demostrar las competencias adquiridas.
- La superación de cualquiera de las pruebas no se logrará sin un conocimiento uniforme y equilibrado de toda la materia.

La calificación del examen final constituirá el 70% de la nota y el 30% restante se evaluará, de forma complementaria, según: participación en clase, entrega de trabajos y problemas, controles periódicos orales o escritos.

CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA

- Opción 1. Un examen único que incluirá varias cuestiones teórico-prácticas y problemas que constituye el 100% de la nota.
- Opción 2. Un examen único que incluirá varias cuestiones teórico-prácticas y problemas que constituye el 70% de la nota a sumar al 30% de la evaluación continua del curso si el alumno expresa explícitamente su preferencia por esta opción.

DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS QUE FORMARÁN PARTE DE LA EVALUACIÓN ÚNICA FINAL ESTABLECIDA EN LA "NORMATIVA DE EVALUACIÓN Y DE CALIFICACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA



UNIVERSIDAD DE GRANADA”
Evaluación única final: Aquellos estudiantes que, siguiendo la Normativa de la UGR en los términos y plazos que en ella se exigen, se acojan a esta modalidad de evaluación, realizarán un examen que incluirá varias cuestiones teórico-prácticas y problemas.
INFORMACIÓN ADICIONAL: Trabajos y exámenes presentados han de ser manuscritos y firmados hoja por hoja.
ESCENARIO B (ACTIVIDAD NO PRESENCIAL)
HORARIO (Según lo establecido en el POD)
L 11-13, X 11-13, J 11-13 y bajo demanda de los alumnos
ADAPTACIÓN DEL TEMARIO TEÓRICO Y PRÁCTICO (Cumplimentar con el texto correspondiente, si procede)
MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA METODOLOGÍA DOCENTE (Actividades formativas indicando herramientas para el desarrollo de la docencia no presencial, si procede)
Clases on-line con Google-meet Entrega de trabajos y ejercicios en la plataforma PRADO
MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA EVALUACIÓN NO PRESENCIAL (Herramientas alternativas de evaluación no presencial, indicando instrumentos, criterios de evaluación y porcentajes sobre la calificación final)
Convocatoria Ordinaria
Herramienta PRADO 1 Descripción: Entrega de problemas específicos de la materia tratada en un tema plantados en las clases on-line con limitación de entrega en franja horaria superior a las 24 horas . Criterios de evaluación: Planteamiento del problema, corrección de la solución, originalidad de la solución Porcentaje sobre calificación final: Hasta un 70%
Herramienta PRADO + Google meet Descripción: Entrega de problemas cubriendo toda la asignatura plantados en PRADO y con limitación de franja horaria inferior a las 3 horas y con Google meet abierto y compartido para consultas y aclaraciones mediante el chat . Criterios de evaluación: Planteamiento del problema, corrección de la solución, originalidad de la solución (verificable mediante tutoría telemática posterior), capacidad de interrelación entre conceptos. Porcentaje sobre calificación final: Hasta un 70%
Convocatoria Extraordinaria: 2 opciones posibles a elegir
Opción 1: Idéntica a convocatoria ordinaria, recuperando los problemas resueltos durante el curso con la calificación obtenida durante el curso y realizando una nueva entrega de problemas finales cubriendo toda la asignatura plantados en PRADO y con limitación de franja horaria inferior a las 3 horas y con Google meet abierto y compartido para consultas y aclaraciones mediante el chat . Criterios de evaluación: Planteamiento del problema, corrección de la solución, originalidad de la solución (verificable mediante tutoría telemática posterior), capacidad de interrelación entre conceptos. Porcentaje sobre calificación final: 100% = 50% (problemas curso)+ 50% (problemas finales)



Opción 2: Herramienta: Prado + Google meet

Descripción: Entrega de problemas finales cubriendo toda la asignatura planteados en PRADO y con limitación de franja horaria

inferior a las 3 horas.

Criterios de evaluación: Planteamiento del problema, corrección de la solución, originalidad de la solución (verificable mediante tutoría telemática posterior), capacidad de interrelación entre conceptos.

Porcentaje sobre calificación final: 100%

MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA EVALUACIÓN ÚNICA FINAL NO PRESENCIAL

(Herramientas alternativas de evaluación no presencial, indicando instrumentos, criterios de evaluación y porcentajes sobre la calificación final)

Herramienta: Prado + Google meet

Descripción: Entrega de problemas planteados en las clases on-line con limitación de franja horaria

inferior a las 3 horas.

Criterios de evaluación: Planteamiento del problema, corrección de la solución, originalidad de la solución (verificable mediante tutoría telemática posterior), capacidad de interrelación entre conceptos.

Porcentaje sobre calificación final: Hasta un 70% Descripción

Criterios de evaluación

Porcentaje sobre calificación final

RECURSOS Y ENLACES RECOMENDADOS PARA EL APRENDIZAJE Y EVALUACIÓN NO PRESENCIAL
(Alternativas a la bibliografía fundamental y complementaria recogidas en la Guía Docente)

RECURSOS:

ENLACES:

INFORMACIÓN ADICIONAL IMPORTANTE: *A menos que se indique lo contrario, los trabajos y exámenes presentados para su evaluación han de ser manuscritos de puño y letra por el alumno autor, fechados y firmados incluyendo DNI hoja por hoja (excepto gráficas o listados de programa). En caso de ser subidos a la plataforma PRADO dichos originales han de ser escaneados y conservados y deben de estar disponibles en todo momento para ser enviados como pruebas documentales por correo ordinario certificado o correo de la UGR en caso de requerimiento específico. La autenticidad de los documentos aportados será eventualmente justificada en tutoría por el estudiante oralmente (google-meet o presencialmente) bajo requerimiento explícito del profesor lo que contribuirá al ajuste fino de la evaluación de las pruebas.*



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

INFORMACIÓN SOBRE TITULACIONES DE LA UGR
grados.ugr.es